

4章 眉山崩壊の危険度評価と崩壊・土石流対策

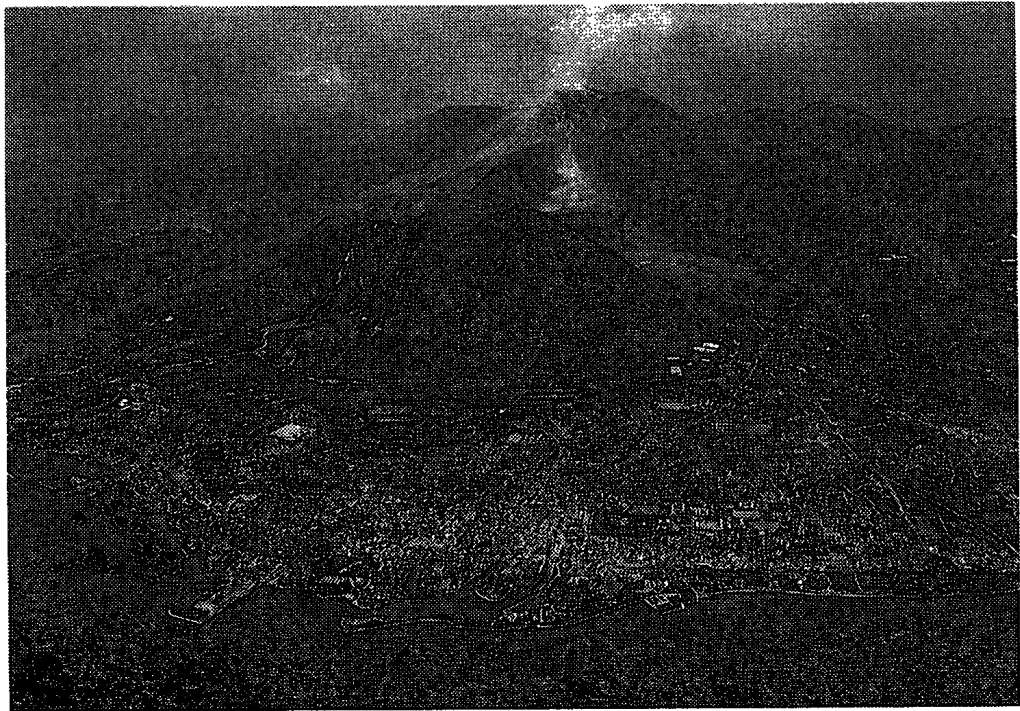
後藤惠之輔
棚橋 由彦
杉山 和一

1節 研究の目的

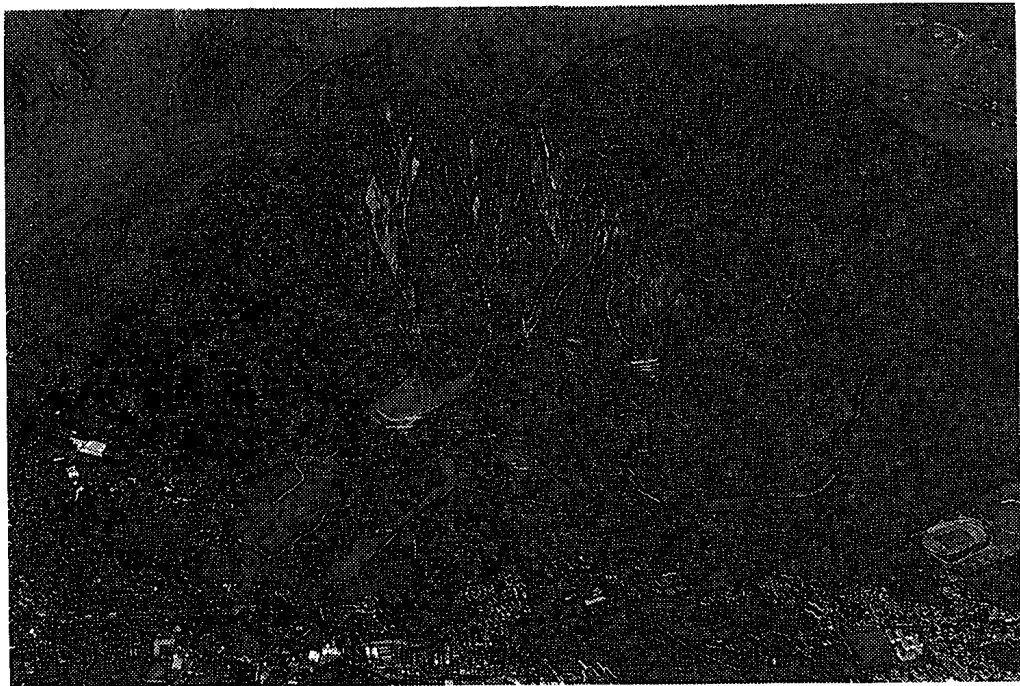
寛政4年（1792年）の島原大変では、眉山（写真－1参照）の大崩壊とそれに伴う津波によって、約15,000人の死者を出した。これから198年ぶりの今回の再噴火では、当初、島原大変の経験から、雲仙・普賢岳の火山活動に伴い眉山の大規模崩壊が懸念されていた。しかし、最近では、雲仙・普賢岳の火砕流、土石流の影に隠れて、眉山の危険性が見過ごされている感がある。

このような状況下、本年（1993年）8月20日には、眉山において島原市街地に達する土石流が発生した。もち論、この土石流は眉山山体の小崩壊に端を発するものである。したがって、眉山については、島原大変時のような大崩壊と並んで、小崩壊および土石流に対しても考究し、対策を講じておく必要がある。

本章では、2節で崩壊・土石流の現状について認識した後、3節で島原大変時の眉山大崩壊の発生メカニズムについて考察する。次いで4節では、今後懸念される大崩壊の危険度評価を、統計的手法である数量化理論を用いて行う。そして最後の5節において、崩壊・土石流対策の現状について触れるとともに、著者ら独自の対策法を提言するものである。



(a) 遠景 (背後に普賢岳を望む、1993年9月6日撮影)



(b) 近景 (1993年10月1日撮影)

写真一 1 眉山の航空写真 (いずれも長崎県災害対策本部提供)

2節 崩壊・土石流の現状

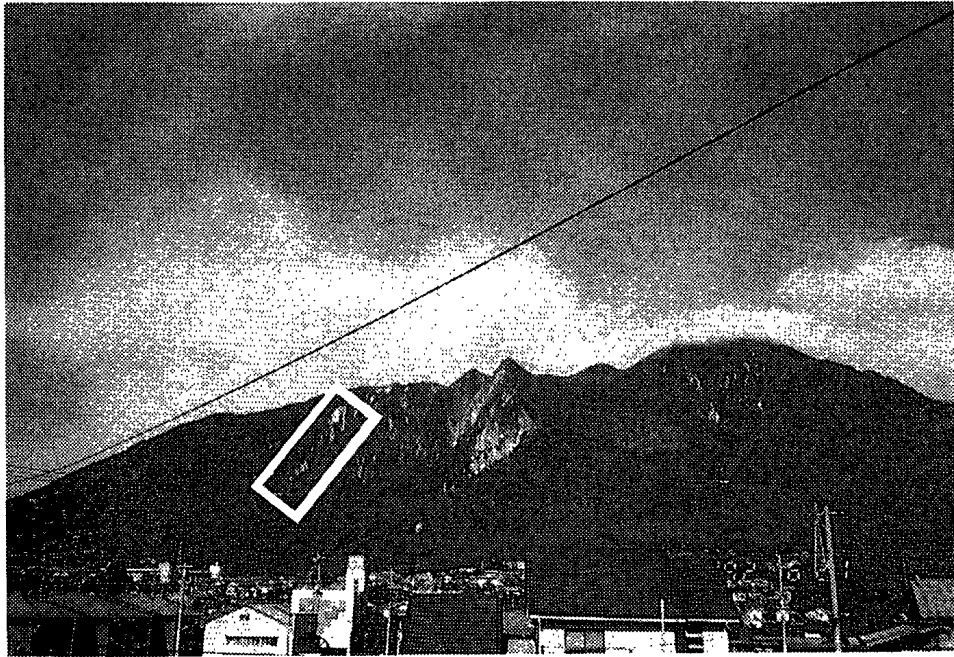
1. 最近の小崩壊

島原市の背後に位置する眉山の基岩は、灰色または褐色の輝石角閃安山岩であり、その質は堅硬ではあるが、不規則な節理に富み脆弱である。このような脆弱な地質に起因して、山腹崩壊が多く見られ、降雨毎に蝕溪が発達している。現在、顕著な蝕溪として8溪あり、南から北へそれぞれ第0溪、第1溪、……、および第7溪と称している。それぞれの蝕溪を流域に持つ河川として、南から順に鮎川、新湊川、白水川、大手川および北川が流れている（図-1参照）。

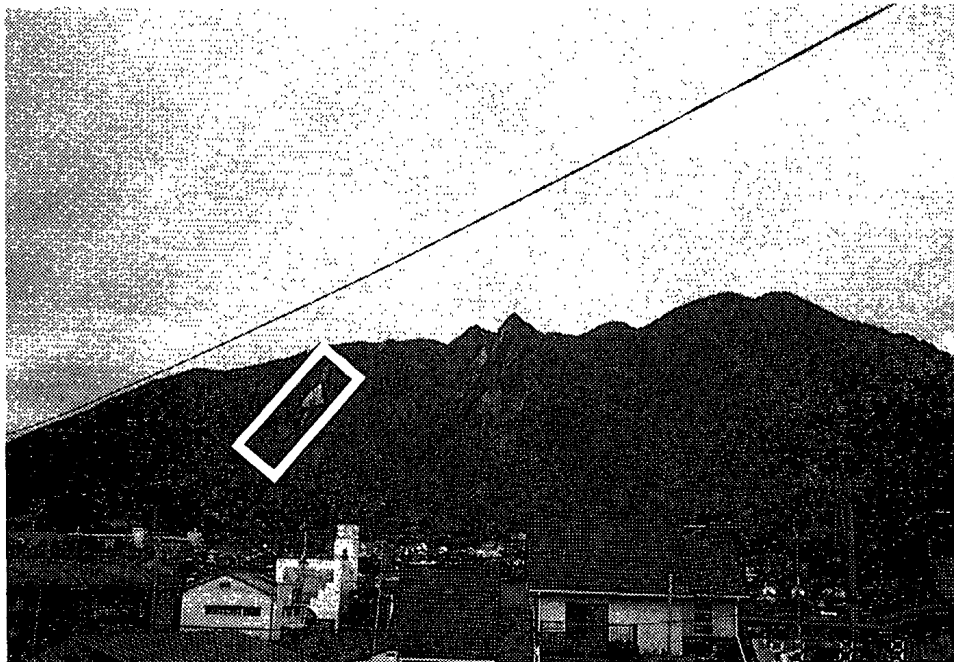


図-1 島原市とその周辺

写真-2は、最近の眉山の変状を示す比較写真である。昨年6月に撮影された写真-2(a)に比べて、1年2カ月後の写真-2(b)では特に枠内の部分（第0溪）の変化が目立つ。これらの写真は、島原市在住者が定点観測的に撮っているものである。著者の一人（後藤）あての私信¹⁾によれば、今までの崩壊は山膚が茶色く見えていたのが、最近の崩壊では山膚が白く、まるで治山ダムの底



(a) 1992年6月21日



(b) 1993年8月9日

写真-2 眉山の変状 (いずれも宮崎佑一氏撮影)

4章 眉山崩壊の危険度評価と崩壊・土石流対策

があるかの様に見えるという。

山体の崩壊によって生産された土砂は、雨が降る度、土石流となって流下し治山ダムに堆積したりする。写真一2における第0溪を写真一1(b)で見れば、生産土砂は下流の治山ダムに大量に堆積していることが認められる。

2. 土石流の発生状況

眉山の蝕溪では、晴天時であっても落石があっており、降雨時になれば、ほとんどの蝕溪で土石流の発生が見られる。少し古くは、1957年の諫早大水害の豪雨により、島原市内は土石流の被害を受けた。このときの被害規模は、全市における家屋の流出30戸、床上浸水約2,500戸に及び、死者12名を数えている。更に、1988年5月3日の集中豪雨では、大手川が氾濫しアーケード街が水浸しになるとともに、眉山で土石流が発生した²⁾。被害は、島原市内で床上浸水310戸、床下浸水721戸である。

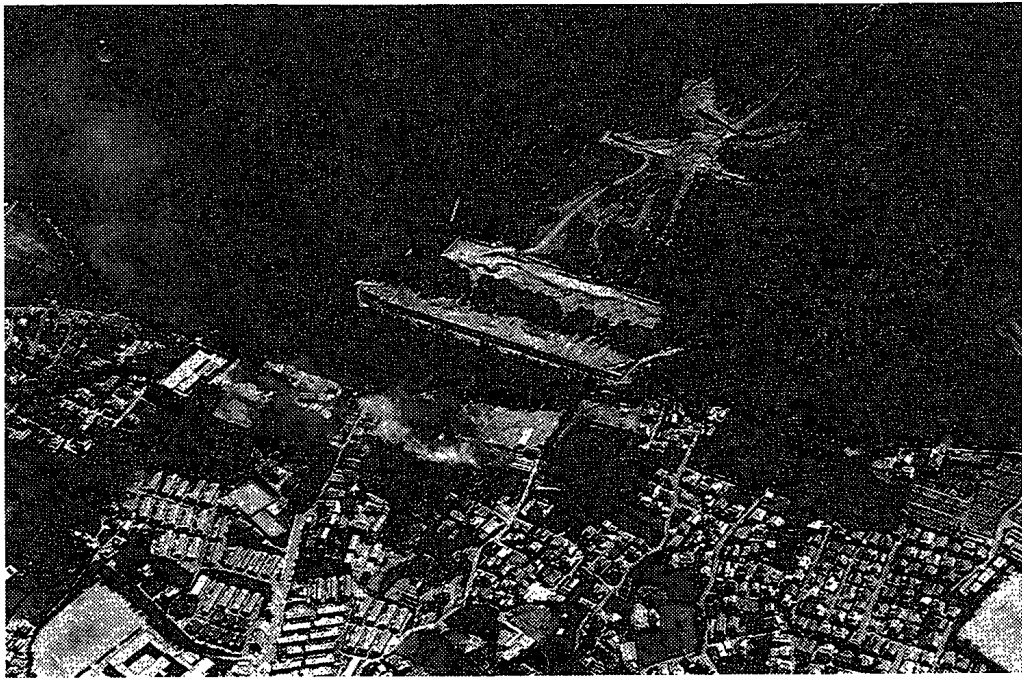
本年7月21日、普賢岳の土石流被害を調査した折、久し振りに眉山に入ってみた。この調査時、4日前に大量の土石流が起こっており、その土砂が写真一3に見るように高さ5mもある霞堤を乗り越えていたことに驚愕した。5年前



写真一3 1993年7月17日発生土石流の状況
(同年7月21日撮影、撮影者：後藤恵之輔)

の土石流では、治山ダムでかなりの土砂がくい止められ、霞堤の所で土砂は完全に停止していた。しかし、この7月17日発生の土石流は、これよりはるかに大量に発生しており、市街地近くに迫っていた。土砂排出を急がなければ、今後土石流が起こった時、市街地にまで達するのにも時間の問題かと思われた³⁾。

この不安はすぐに適中した。前の土石流から1カ月後の8月20日早朝、豪雨のため土石流が発生した（写真－4参照）。住家162戸が全・半壊、床上浸水な



写真－4 1993年8月20日発生土石流の状況

（航空写真、同年8月23日撮影、長崎県災害対策本部提供）

どの被害に遭い、泥流は市中心部を抜け約1.7km先の国道251号にまで達し、1人が流木で負傷した。土石流は水無川、中尾川でも発生し、国道251号が前日からの水無川に続き、中尾川でも通行止めとなったため、市中心部は一時孤立状態となった。

3節 眉山大崩壊の発生メカニズム考

寛政4年（1792年）の眉山大崩壊の発生原因については、表－1に示すように諸説があり、まだ決着がついていない。ここでは、著者ら自ら行った御岳崩れ（1984年）、鹿児島市竜ヶ水災害（1977年）、長崎大水害（1982年）などの災

4章 眉山崩壊の危険度評価と崩壊・土石流対策

表—1 1792年眉山大崩壊の原因諸説⁴⁾

学 説	根拠／主張	提 唱 者
火山爆裂説	<ul style="list-style-type: none"> ・馬蹄型崩壊と流山は火山爆裂現象特有 ・火気，噴煙，地震微弱の古記録あり ・地下水噴出は噴火現象に付属的 	佐藤伝蔵(1925) 駒田亥久雄(1913) 古谷尊彦(1978)
地震崩壊説	<ul style="list-style-type: none"> ・山体脆弱 ・地震→小噴火→爆発→溶岩流出のパターンに矛盾 ・爆発音にしては弱小 ・爆発の古記録なし 	大森房吉(1908)
	<ul style="list-style-type: none"> ・地震動による圧碎岩体の液状化→土石流発生(崩壊物流入による津波誘発) 	太田一也(1969)
熱水増大説	<ul style="list-style-type: none"> ・熱水増大→地震誘発(円弧地滑り＝海底突き上げによる津波誘発) 	片山信夫(1974)

害調査や島原半島の地下水調査に基づいて、自説⁵⁾を展開するものである。結論を先に言っておけば、眉山大崩壊は、火山活動および群発地震による進行性破壊と地下水の関与による。

まず、進行性破壊によることを述べる。進行性破壊は疲労性破壊とも言うが、いったん生じた亀裂が繰り返し力を加えられることにより広がり、数を増し、やがては全体が破壊する破壊形態である。思い起こして欲しい。1985年8月、日本航空8119機が墜落した事故⁶⁾をである。8119機は8年前の1978年に大阪空港で尻もち事故を起こしたが、この時生じた圧力隔壁の亀裂に対して適切な修理が施されなかったため、いったん生じた亀裂は繰り返しの離着陸により増加・拡大し、ついに1985年8月、亀裂の無数に入った圧力隔壁がバラバラに壊れて、8119機はダッチロール飛行の末、御巢鷹山に激突、520名の人名が奪われたのである。

1792年の眉山大崩壊はこれによく類似している。大崩壊は1792年5月21日に起こっているが、雲仙火山ではその前年の11月頃から群発地震が発生している。この3カ月後には、眉山に隣接する普賢岳で噴火が始まり、やがて溶岩を流し出した。この溶岩流出はほぼ50日間で終わったが、噴煙活動は半年以上に及んだ⁴⁾。これら地震、火山活動がきっかけとなり、眉山の山体に亀裂が発生し、数を増し拡大していったに違いない。噴火開始2カ月後の1792年4月に入

ると、21日～25日にかけて最大規模の地震が発生し、眉山では局所崩落、島原城一帯では地割れが生じた。この地震活動により、眉山にはますます無数の亀裂が入り拡大して、いつ崩れてもおかしくない状態にあったと考えられる。そして5月21日夜の数回にわたる地震が引き金となって、眉山は大崩壊し、崩壊土砂とこれに伴う津波によって約15,000人の人命が奪われた。

このように眉山大崩壊の発生メカニズムを考えるのは、木曾御岳山のいわゆる御岳崩れの実地調査と発生メカニズム考^{7) 8)}が元となっている。御岳崩れは1984年9月14日、マグニチュード6.8の直下型浅発地震が引き金となって起こったが、発生の8年前から地震が頻発し、5年前の1979年10月28日には御岳山が噴火している。地震の頻発により、御岳山の山体に亀裂が生じ増加・拡大して、更に噴火によりそれらが加速されていたはずである。著者の一人（後藤）は、御岳崩れの調査体験から当時既に、眉山大崩壊の発生メカニズムを山体の進行性破壊によると推測していた。

進行性破壊による眉山大崩壊に更に加担したのは、地下水の関与である。地中に水があれば、地盤は崩れやすい。その水は、地下水であっても、降雨や積雪により供給されてもよい。例えば、1977年6月22日発生の鹿児島市竜ヶ水災害（死者9名）および1982年7月23日発生の長崎大災害（死者・行方不明者299名）のいずれにおいても、先行降雨があり地盤が脆くなっていた。

御岳崩れにおいても同様である。崩壊は9月14日午前8時49分以降に起こっているが、その5日前の9日には日雨量119mmの降雨があり、崩壊発生当日の14日にも直前まで29mmの雨が降っていた⁷⁾。眉山においては尚更で、この山は元々、地下水が豊富である。島原半島の中央部には、東西方向に走る千々石断層と深江断層があり、雲仙地溝帯と呼ばれる断層地形を形成している。この雲仙地溝帯は島原半島で最も地下水が豊富な地域⁹⁾であり、著者らの調査によれば海岸の海底からも地下水が湧き出している¹⁰⁾ほどである。眉山はこのような地下水豊富な雲仙地溝帯の中にある。

更に、著者らは眉山を対象として31箇の横断面を想定し、次の6ケースについて安定計算¹¹⁾を行った。①重力のみ、②重力+地下水位上昇、③重力+水平地震力（自重×0.1）、④重力+水平地震力（自重×0.2）、⑤重力+地下水位上昇+水平地震力（自重×0.1）、⑥重力+地下水位上昇+水平地震力（自重×0.2）。その結果、重力のみを考慮した①のケースに対する安全率の低下は、いずれの断面においても⑤と⑥の両ケースが大きかった。すなわち、眉山で地震

4章 眉山崩壊の危険度評価と崩壊・土石流対策

が起こった場合、地下水が関与するとき崩壊しやすいことが明らかである。以上をまとめて表-2に示す。

表-2 進行性破壊説（後藤による）

現象	JAL8119機	御岳崩れ	眉山大崩壊
亀裂発生	大阪空港での 尻もち事故 (1978)	8年前から 地震頻発	群発地震 (1791.11~) 噴火・溶岩流出
亀裂拡大・増加	繰り返しの 離着陸		
破壊	圧力隔壁の 破壊 (1985.8)	M6.8地震 (1984.9.14)	M6.4地震 (1792.5.21)
降雨・地下水	—	日雨量119mm の降雨 (1984.9.9)	地下水豊富

4節 眉山の崩壊危険度予測

1. 重み付き危険度予測手法の概要

ここでいう統計的手法とは、具体的には林により体系化された数量化理論^{1,2)}を用いる。数量化理論による危険度評価の特徴は、傾斜角のような定量的因子と同様に、地質、植生などの定性的因子も数量的に取り扱うことにある。数量化理論においては、定量的因子もカテゴリカルなデータとして扱われる。数量化分析手法には4つのパターンがあり、第I類は外的基準が数量で与えられている場合、第II類は外的基準が質的分類で与えられている場合、第III類、第IV類は外的基準がない場合にカテゴリカルデータを分析する手法であり、それぞれ定量的データに対する重回帰分析、判別分析、主成分分析、因子分析に対応する。本研究では、第II類と第III類を有機的に総合し、各要因の崩壊への寄与度を考慮した「重み付き危険度評価法」^{1,3)}を採用した。そのフローを図-2に示す。

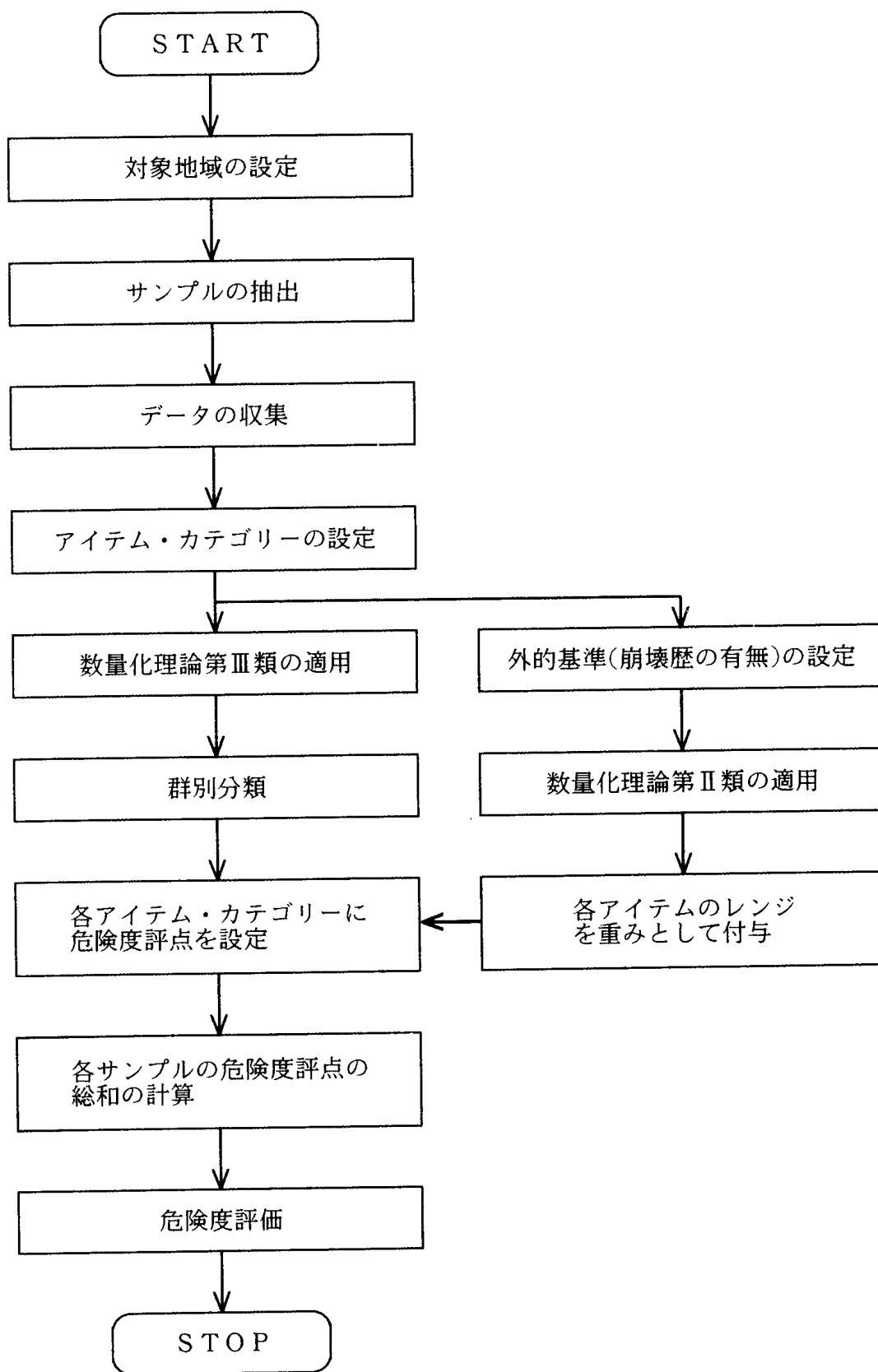


図-2 重み付き危険度評価法のフローチャート

4章 眉山崩壊の危険度評価と崩壊・土石流対策

対象地域の設定、サンプルの抽出、危険度評価に必要なアイテムに関するデータの収集後、外的基準（大規模崩壊歴の有無）を設定する。数量化理論第Ⅱ類の適用によりレンジ値を求め、各アイテムの大規模崩壊への判別寄与度を考察する。同時に、外的基準を考慮しない数量化理論第Ⅲ類を適用し、アイテム・カテゴリーの構造を解明して群別分類を行い、危険度評点 d （0～4の整数）を与える。Ⅱ類適用の結果得られた基準化レンジを重みとして d に乗じ、重み付き危険度評点 d' （正の実数）を求める。各サンプルの危険度評価点 D_i は、互いに背反的に反応する各アイテム・カテゴリーに付与された危険度評点 d' の総和として計算される。

2. 対象地域、説明アイテムと各カテゴリーの設定

対象地域は、眉山を含む、 $5\text{ km} \times 7\text{ km} = 35\text{ km}^2$ とした（図—3参照）。ここでは、誘因をアイテムから除外し、素因だけに限定して解析¹¹⁾を行った。大規模崩壊の素因と考えられるカテゴリー化の可能な説明アイテムとして、傾斜角、起伏量、標高、地質、谷密度、河川縦断勾配、土地利用、植生、山体内部情報として弾性波速度の9アイテムを選び出し、それらの相関係数を検討し、傾斜角と相関の大きかった標高を除いた8アイテム、35カテゴリーを設定¹⁴⁾した。

以下、各アイテムの説明を行う。

- ①傾斜角：傾斜区分図¹⁵⁾より判別。各サンプルごとの代表的な傾斜角をそのサンプルの傾斜角とした。傾斜角は、単位区間において、最大標高と最小標高との差を求め、逆正接で求めた。
- ②起伏量：地形分類図¹⁵⁾より判別。各サンプルの最大標高と最小標高との差をそのサンプルの起伏量とした。
- ③地質：表層地質図¹⁵⁾より判別。各サンプルの代表的な地質をそのサンプルの地質とした。
- ④谷密度：谷密度図¹⁵⁾より判別。サンプルの各辺を切る谷の和を合計した。
- ⑤縦断勾配：縦断勾配図¹⁵⁾より判別。
- ⑥弾性波速度：弾性波速度図¹⁴⁾より判別。弾性波速度から、地質の固結程度、亀裂程度、風化程度、変質程度などを推定できる。
- ⑦土地利用：土地利用現況図¹⁵⁾から判別。各サンプルごとに代表的な土地利

用をそのサンプルの土地利用とした。

3. 数量化理論第Ⅱ類による解析結果および考察

崩壊歴を有するサンプルは、1792年の眉山（天狗山）崩壊による移動土塊サンプル79個とした。Ⅱ類解析の結果、ミニマックス的中率は83.3%を得た。ミニマックス的中率とは、サンプルの分類項目を誤って判断する確率が最小になるよう、ミニマックス法によって求めたものだが、得られた結果は、5回に4回の割合で、サンプルが発生区分か非発生区分かを正しく判別できることを意味する。

表一3に偏相関係数とレンジを示す。偏相関係数は、説明特性として用いた個々のアイテムが、分類項目（外的基準）の判別に対して、どのくらい寄与しているかの尺度として用いられる。レンジとは、アイテム中のカテゴリー数量の幅を表すもので、それが大きいほど、そのアイテムは分類項目の判別に強く寄与していることを意味する。

表一3 偏相関係数とレンジ値（Ⅱ類適用結果）

	偏相関係数	レンジ
傾斜角	0.179	0.509
起伏量	0.102	0.281
地質	0.361	1.457
谷密度	0.378	1.361
河川縦断勾配	0.121	0.403
弾性波速度	0.185	0.476
土地利用	0.133	0.414
植生	0.281	0.883

レンジ値（表一3参照）から、特に、地質、谷密度が崩壊・非崩壊区分の判別に大きく寄与していることが分かる。中小規模の崩壊では地形的な要因が支配的であるが、大規模崩壊のメカニズムには、それ以外の地質や谷密度などの素因が影響するものと言える。

4. 数量化理論第Ⅲ類による解析結果および考察

Ⅲ類解析の結果、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ軸の固有値はそれぞれ、0.633、0.342、0.266であった。アイテム・カテゴリーの構造を解明し、群別分類された各群（5群）にそれぞれ危険度評点d、0、1、2、3、4を付与した（表一4）。これによって、基準アイテム傾斜角のカテゴリー（5：30度以上）と相関の強かったカテゴリー、起伏量（10：150m以上）、河川縦断勾配（23：20度以上）、植生（30：アカマツーミヤマキリシマ群集）に危険度評点4が付与され

4章 眉山崩壊の危険度評価と崩壊・土石流対策

表一4 各アイテム・カテゴリに付した危険度評価点, d

アイテム名	危険度評価点 d									標準化 レンジ	
	0		1		2		3		4		
傾斜角 (°)	1	3°未満	2	3-8	3	8-15	4	15-30	5	30°以上	0.349
起伏量 (m)	6	30m未満	7	30-60	8	60-90	9	90-150	10	150m以上	0.193
地質			12	火山れき・ 砂・粘土			11	土石・れき 砂・泥	14	黒雲母岩	1.000
谷密度 (1/km)	15	3/km未満	18	9-12	20	15/km以上	19	12-15			0.935
	16	3-6									
	17	6-9									
河川縦断勾配 (°)	21	10°未満					22	10-20	23	20°以上	0.277
弾性波速度 (m/s)	24	150未満	26	180m/s以上	25	150-180					0.328
土地利用	29	草地 宅地	28	畑	27	樹林					0.284
植生	34	市街地	32	スギヒノキ			31	ヤマツツジ	30	ミヤマキリ シマ	0.606
			33	畑地							
			35	ミカン, 茶園							

た。起伏量, 河川縦断勾配はいずれも, 基準アイテムである傾斜角と同じ地形的な要因であるので, 比例的な相関は頷ける。また, 植生(アカマツ-ミヤマキリシマ群集)については, 検討の必要性がある。

5. 重み付き危険度予測結果と考察

危険度クラスの分級については, 各クラスに反応するサンプル数がほぼ同じくらいになるように, 5段階に分級した。図一3に対象地域の危険度クラス別反応サンプルを示す。×, ◎, ●の順で危険度が大きくなる。眉山(天狗山, 七面山)の東西斜面に比較的, 危険度の大きい分布がみられる。また, 北上木場町の北東に位置する斜面の危険度が大きいことも見逃せない。

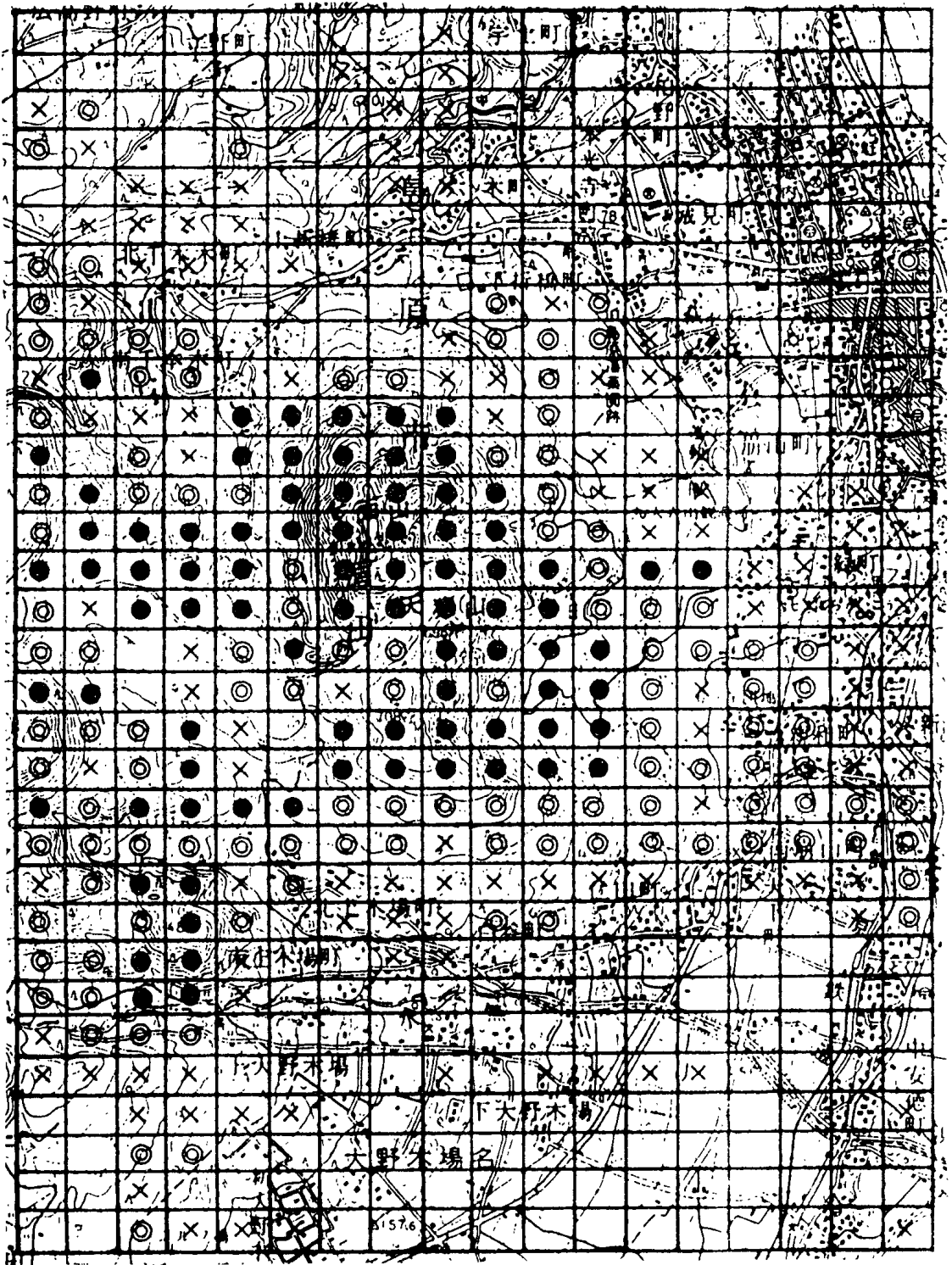


図-3 対象地域の危険度クラス別反応サンプル

5節 崩壊・土石流対策

1. 対策の現状¹⁶⁾

当該地区では、1792年の眉山大崩壊の後、雨が降るたびに山腹上部滑落崖の崩壊地が拡大し、山腹斜面に土石流を発生させている。このため、1916年から現在まで林野庁により治山事業が実施されている。その間、1957年の諫早大水害の際にも大きな被害を受け、同年眉山地区の基本的な災害対策を計画するために、「眉山地区治山対策審議委員会」が設置された。1962年同委員会は、それまで白水川に流出していた眉山0～5溪の水を、鮎川（0～2溪）、新湊川（3溪）ならびに白水川（4、5溪）に分流することを内容とする「三川分流計画」を決定した。その後、同委員会により、6溪の水を大手川に、7溪の水を北川に流下させることが追加決定され、それに基づき治山工事が実施されている。

眉山地区の治山対策は、巨大崩壊に関するものと、小崩壊およびそれに起因する土石流の発生に関するものとの2つに大別される。前者については、地震などの地殻変動によって突発的に発生することが想定され、警戒避難体制で臨む方針が打ち出されている。このため、1991年5月から多くの地点で動態観測が行われ、現在のところ災害発生を感知するような観測結果は得られていない。これに対し、後者については治山ダム、霞堤、導流堤などの対策工で対処する方針で実施されている。

現在、山腹上部の崩壊地の総面積は、0～7溪合わせて約14 haで、特に0～4溪では崩壊土砂の生産が著しく、年間約10,000 m³にも及んでいる。当該地区の下流部には島原市の市街地が隣接し、しかも各溪流から有明海に至る流路が狭いことから、発生した土石流を市街地に流出させないことを目的に、治山事業が進められてきた。具体的には、次のような対策が講じられている。

- ①各溪流末端の導水をかねた土砂貯留のためのスパンの長い治山ダム
- ②上流からの土砂を林内に拡散する霞堤
- ③土石の流下方向を規制する導流堤
- ④土砂流送区間の溪床の侵食を防止するための治山ダム

2. 調査・対策法の提言

眉山地区における崩壊・土石流対策を計画する場合、巨大崩壊に関するものと、小規模崩壊およびそれに起因する土石流に関するものとに分けて、考えることが必要である。

巨大崩壊については、3節でも述べたように、火山活動および群発地震による進行性破壊と地下水の関与に起因するものと考えられる。したがって、山腹斜面の地中には、地質的に脆弱な部分や地下水の高い箇所が存在することが想定され、その位置や深度の調査には、各種の物理探査法が適用できると判断される。また、その対策としては、地中の脆弱部を薬液注入などの工法で補強するとともに、集水井や集水ボーリングなどの工法により地下水の低下を図ることが有効であると考えられる。

小規模崩壊・土石流については、2つの観点からその対策が考えられる。その一つは、土石流の原因になる土砂生産を抑制するとともに、地表水の地下への浸透を低減するという観点である。第二は治山ダム、霞堤、導流堤などを適切に配置することにより、発生した土石流を抑止または安全に誘導するという観点である。後者については、現在すでにより整備されており、なお不足する施設の設置、現状の施設の補修、堆積物の浚渫・除去などが、今後の課題である。これに対し、前者の小規模な崩壊の防止という重要な課題については、ほとんど対処されていないのが現状である。

著者らは、普賢岳の噴火による火山灰や眉山山腹斜面の土石流堆積物を採取し、その成分を調べることにより、CAS材¹⁾（炭酸アルミネート系塩の略称で、一般に四成分系処理剤とも呼ばれている）を利用した吹付け材やコンクリートを開発することが可能であるという感触を掴むに至った。この開発により、崩壊地域の滑落崖の吹付けや土石流対策施設の建設を安価に実施することができる。更に、処分が困難な火山灰や土石流堆積物の有効利用が可能となることから、本研究開発が非常に有益であると考えられる。

参考文献

- 1) 島原市安養寺住職・宮崎佑一氏からの私信，1993. 8. 26付。
- 2) 後藤恵之輔・武政剛弘・棚橋由彦・森 正寿：島原市土石流災害の現地調査と衛

4章 眉山崩壊の危険度評価と崩壊・土石流対策

- 星リモートセンシング，文部省科学研究費（No. 63115039）突発災害調査研究成果「1988年南西諸島及び九州中西部豪雨災害の調査研究」（研究代表者：平野宗夫），pp. 71～85，1989. 3.
- 3) 後藤恵之輔：しのび寄る土石流，長崎新聞「うず潮」欄，1993. 8. 10.
 - 4) 太田一也：眉山大崩壊のメカニズムと津波，月刊地球，Vol. 9，No. 4，pp. 214～220，1987.
 - 5) 後藤恵之輔：1792年眉山大崩壊の発生メカニズム考と崩壊・土石流対策，平成5年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1993. 11.
 - 6) 柳田国男：事実の素顔，文芸春秋社，pp. 102～105，1987. 3.
 - 7) 後藤恵之輔・愛甲 敬・有沢雄三：長野県西部地震における大規模土砂崩壊の発生・流下機構，土木学会誌，1985年2月号，pp. 12～19，1985. 2.
 - 8) 後藤恵之輔・愛甲 敬：長野県西部地震による大規模土砂崩壊のリモートセンシング調査，土と基礎，Vol. 33，No. 11，pp. 33～38，1985. 11.
 - 9) 農業用地下水研究グループ：日本の地下水，地球社，pp. 824～828，1986. 9.
 - 10) 後藤恵之輔・藤田 徹・川内清明・森 正寿：ランドサットTMデータを用いた海岸湧出地下水の遠隔探査，海洋開発論文集，土木学会・海洋開発委員会，Vol. 4，pp. 249～254，1988. 11.
 - 11) 棚橋由彦・松岡朋秀・後藤恵之輔：眉山の安定解析と危険度評価，長崎大学教育特別研究費研究成果「雲仙火山災害の調査研究」（研究代表者：後藤恵之輔），pp. 62～75，1992. 6.
 - 12) 河口至商：多変量解析入門Ⅱ，森北出版，pp. 96～98，1978.
 - 13) 棚橋由彦・後藤恵之輔・杉山和一：土石流の事例解析と発生予測法の一試案，新砂防，Vol. 41，No. 5，pp. 3～13，1989. 1.
 - 14) 岩尾雄四郎：眉山の浸食・崩壊に対する安定性の評価，平成2年度科学研究費補助金・総合研究(A)・研究成果報告書（研究代表者：加茂幸介），pp. 75～88，1991. 3.
 - 15) 長崎県土地対策室：島原・荒尾，土地分類基本調査・長崎県南部総合開発地域，1976.
 - 16) 熊本営林局・林業土木コンサルタント：雲仙岳・眉山地域治山事業総合調査報告書，pp. 126～128，1993.

- 17) 嘉門雅史・澤 孝平・友久誠司：桜島降下火山灰の石灰・セメント系固化による有効利用，第23回土質工学研究発表会発表講演集，土質工学会，pp. 2253～2254，1988.6.